ヒューマンエラーを考察したリスクアセスメント手法の研究

森山 哲　大谷 英雄
横浜国立大学大学院環境情報学府

Risk assessment tools incorporating human error

Tetsu Moriyama and Hideo Ohtani
National University of Yokohama

Though Risk Assessment tools incorporating human-related aspects is highly required for general industry people, it has been reported that as many as 80% of all occupational accidents have human errors as a cause. Human error probability (HEP) has been used for large-scale, safety-critical industries for last quarter century, but these tools are not suitable for more general industries that comprise the majority of occupational accident settings.

Here, we describe and verify a risk assessment tool that includes human-related aspects for general industries. The tool expands on traditional risk assessment methods, such as matrix, risk graph and numerical scoring method, by adding human-related aspects. The tool is easy to use, fast and requires low resources in general occupational environments, and includes assessments of human behavior and potentially outdated machinery at work place and small companies.

キーワード：リスクアセスメント，人的過誤，不安全行動，PSF，機械安全

1. はじめに

労働災害の約 80%には作業者の不安全行動が事故原因に含まれている[1]. このことは, 作業者のヒューマンエラー低減が労働災害防止上重要な問題であることを示している. しかし災害防止に有効であるリスクアセスメントはハードウェアを中心に評価しており, 人的側面の評価も含めているリスクアセスメントの実施例は少ない. 実施した事例でも, ハードウェアを中心としたリスクアセスメント（以下 従来型のリスクアセスメント）と, これと独立した人的・管理的部分の調査・評価の 2 つを実施し, 双方の評価結果を別々に見ている状況であって, リスクの総合的な判断がなされていない. これは人的側面を評価する手法やツールが専門家の支援を必要とするものにとどまっていることも大きな要因であろう.

本研究では, 機械ユーザーにおけるリスクアセスメントに不足しているヒューマンエラーのリスク評価を, 従来型のリスクアセスメントと同時に, 専門家ではないユーザーの現場の安全担当者が行えるよう拡張した手法を開発した.

対象とする労働災害は, 被災者が個人であって事故の影響が個人レベルで収まる範囲のものである.

研究は次の 4 段階でおこなった.

a) リスクの定義を再確認して, 危害の発生と人的側面の関連を明らかにする.

b) ヒューマンエラーと関連の深い Performance Shaping Factor (PSF)をリスクアセスメントに使用できることを検証する. PSF 項目の選定は国際規格[2][3][4]とリスクアセスメント指針[5]を参考にした.

c) PSF をリスクアセスメントに組み込むための要素を決定し, 産業界で使用されているリスクアセスメント手法にPSFを組み込めるよう拡張してリスクの評価が出来る事を検証する.

d) フィールドスタディで検証する. 人的側面の評価をふくめたリスクアセスメントを食品製造業にて実施した. 食品製造業のほとんどは中小企業であり，労働者個人に係る災害発生件数も多いので, で開発した手法の検証に適当であると考えられる.

2. 危害の発生と人的側面

2-1. リスクの概念

リスクアセスメントの目的は，危険状態において発生するリスクが許容できる大きさより小さいかどうかを評価し，存在するリスクを本質的方策，工学的方策あるいは組織的方策で低減することである．危険源，危険状態，リスクの大きさはリスクアセスメントの重要な要素であり,リスク評価の結果は取るべき方策の決定に影響する．

リスクの概念はすでに討議されており国際規格(4)でリスク(R) は危害のひどさ(C) と危害の発生確率(P) の組合せと定義される．それは(1)式で表すことができる．

$$R = F(C, P) \cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

また危害の発生確率(P)は，危害に曝される頻度(E)，危険状態の発生(O)，回避の可能性(A) で示される関数であり(2)式で示される．

$$P = f(E,O,A) \cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

(1),(2)式よりリスク(R) は(3)式として示す事が出来る．

$$R = F(C,P) = f(C,E,O,A) \cdots\cdots\cdots (3)$$

関数には，マトリックス法，リスクグラフ法，数値スコアー（乗算，加算）法，定量的なものなどがありどの関数を採用するかはリスクアセスメントを実施する人に委ねられている．

ヒューマンファクターズはリスク見積もりにおいて考慮すべき側面であると国際規格(4) 条項 7.3.4 と厚生労働省のリスクアセスメント指針(5) 条項 9(3)で述べられているが詳細な記述はない．本研究ではヒューマンファクターズを危険事象の発生の確率 (P) に含めて考察する．保護帽，防護手袋，保護ゴーグル，安全靴など個人用保護具（Personal Protective Equipment: PPE）の着用による災害の防止は(2)式の回避の可能性(A) に含めた．

2-2. 危害の発生

図 1 に危害が発生するまでのフロー図を示す．危険源が存在する区域に人の身体の一部が同時に存在すれば危険状態が発生する．危険事象は人的過誤率(HEP)が高ければ発生しやすく組織的な問題があるときも発生しやすい．図 1 に HEP と組織的問題（例えば教育訓練の不足，手順書の不備など）を円筒形で示した．

危険状態が発生し，保護方策に不備がある場合や保護方策が不十分などの場合に，危険事象が発生する．危険事象を人が回避出来ず，着用している保護具で防げなかった場合に危害，即ち労働災害が発生する．

危険源
人
危険状態の発生
E = 危険状態の発生頻度
組織的問題 人的過誤
HEP = 人的過誤確率
PSF=パフォーマンスシェーピングファクタ
保護方策の
不足 | 不適切 | 故障 | 無効化
ＯＲ出力
危険事象の発生
P = 危険事象の発生確率
回避の失敗
A = 回避の可能性
個人用保護具では防げない
PPE = 個人用保護具
危害の発生
C = 危害のひどさ
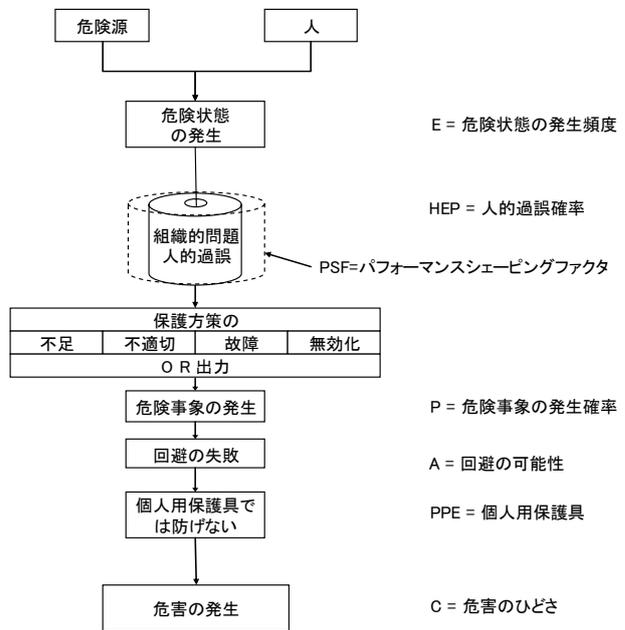
図１　危害発生のフロー図
Figure 1 Occupational accident flow

2-3. リスクの低減目標とヒューマンエラー

従来型のリスクアセスメントではリスクの大きさ（リスクインデックス）を 3 段階から 5 段階で表わしている．一方ヒューマンエラーなど人的側面のリスク評価方法は未だ確立していない．

人的側面による影響を(3)式形で表すことができれば，評価結果も従来型のと同じリスクインデックスで示す事が出来る．従ってリスクの低減目標は従来型のリスクアセスメントの事業場の労働安全衛生方針に従って許容される「合理的に実現可能な程度に低い」レベルにまで適切にリスクを低減することに相当する．なお合理的とは自社にとって都合の良い合理性ではなく，実用化されている最高の技術の使用を含み，社会的コストを含めて厳しく吟味し，説明責任を果たせるものをいう．

3. ヒューマンエラーと危険源

3-1. 労災事故におけるヒューマンエラーの検討

労働災害の多い機械類に食品機械がある. 図 2 はパン屋さんの店頭にある回転する鋭利な丸鋸のスライサーである. この食パンスライサーを使用しているパン製造業（神奈川県内）の直営売店で発生した労働災害についてヒューマンエラーを検討した例を述べる.

図２　食パンスライサーの例
Figure 2 Pullman loaf slicer (example)

回転丸刃を研ぐときの作業手順は「丸刃を動力で回転させながらスライサーに付属しているディスク砥石で研ぐ. 研ぎ上がると回転を止め, 飛び散っている切り粉を拭き取りアルコールで消毒する」である.

研いでいる時にお客様が来られたので作業を中断した. お客様との応対後に作業に戻ったが, 中断時にモーターを止めていなかったことに気づかずに次の手順である回転丸刃の拭き取りを行い指先の切断の災害が発生した.
この作業においてのヒューマンエラー確率(HEP)を表 1 に示す. 一連の作業において個々の動作の HEP は 10^{-2} から 10^{-4} である. なお HEP の計算に使用した基礎データは SWAIN (1983)の人間信頼性ハンドブック[6] の Table 20（各種）から引用した.

表１ スライサー回転丸刃研磨作業中断とエラー
Table 1 Sharpen slicer disk saw interruption and HEP

No.	作業内容	HEP
1	（砥石による研磨作業を行っている）	------
2	お客の声を聞く	0.0001
3	作業中断し応対すると判断する	0.001
4	スイッチを切る	0.003
5	回転が止まったことを確認する*1	0.01
6	（中断と復帰，実作業無し）	-----
7	スイッチを切る（又は確認する）	0.003
8	電源ケーブルを抜く	0.003
9	回転していない事を確認する	0.01
10	刃の拭き取り作業を行う	0.001

*1：ブレーキモータを使用しているので電源遮断で停止する

3-2. ヒューマンエラーに影響を与える要因の抽出

回転丸刃を研ぐときの作業者のエラーを誘発する要因(PSF)の例を表２に示す.

表２ スライサー作業時の PSF（例）
Table 2 PSF during slicing work

1	時間的に焦っていた
2	周辺騒音で丸刃の回転に気づかない
3	作業手順書がない
4	使用法は簡単に教わっただけである（教育訓練）
5	電源コードを抜くように教育訓練されていない
6	教育訓練を繰り返し実施していない
7	取扱説明書は備わっているが読んでいない
8	取扱説明書に記述不足がある
9	スイッチの操作性，視認性など人–機械のインターフェースの課題

注　表２の番号と表１の番号は関連していない

表２は, 作業者（被災者でもある）へのヒアリング, 職場の監督者との討議および人間信頼性ハンドブック[6] の Table 3-2, 電中研 HFC 版[7]より求めた. 表２の 1, 2 項は人的事項, 3 項から８項は組織的問題に属する事項, 9 項は人間工学とハードウェアの設計にかかわる事項である.

他の災害を発生した機械類について HEP の算出とヒューマンエラー誘発要因として PSF の抽出を行ったところ, 表１の HEP の計算,には専門的知識を必要とするが, PSF 項目は機械ユーザーに理解出来やすい事項で抽出し易かった. また個々の作業方法に違いがあっても PSF の視点からみると共通する要因が多い.

PSF は図１の危害発生のフロー図において円筒形部に相当する. 続いて PSF をリスクアセスメントへ適用出来るかを検討する. なお次節で述べる PSF はスライサーに限定せず食品製造業で使用される機械類を対象とする.

3-3. 人的側面の危険源リスト

リスクアセスメントでは危険源を見落とさないことが要求される．そのため危険源を分類した一覧表（例えば文献[4] 附属書 A-1）を準備しそれと同じ分類の危険源がリスクアセスメントの対象である機械に潜んでいないかをチェックすることが行われる．この作業を同定(identification)という．国内ではこの作業を特定とも呼ぶ．リスクアセスメントの標準ともいえる国際規格[2] [3] [4]およびその改訂版[8] [9]はハードウェアに関わる危険源の詳細なリストを提供しているにもかかわらず人的側面に関しては大まかなガイダンスの提供に留まっている．実際に現場でリスクアセスメントを実施する場合にヒューマンエラーに詳しい専門家の助力を得ることは難しいことを考えれば評価項目は単純で理解しやすいものが望ましく，また各項目内の評価点の採点法も単純で理解しやすいものであることが要求される．表 3 に本研究が提案する人的側面の評価項目リストを示す．ここに示す項目は指針[5]と国際規格[8]にも含まれている項目であるので現在行われているハードウェア主体のリスクアセスメントとの整合性もあり理解し易い．またこの評価項目リストは従来型のリスクアセスメントにおける危険源リストと同様に使用出来る事が要求されるので，リスクアセスメントにおけるPSFの影響度を評価することを目標とする．従って評価項目リストは従来型リスクアセスメントにおける危険源リストの一部となる．

評価は“有り”を１点,”無し”を０点とした場合の総合点の上位1/3をレベル3，総合点の中間の1/3をレベル2，総合点の下位1/3をレベル1とし，人的側面の影響度ではそれぞれ, 3：高い影響有り, 2：影響有り, 1：軽微な影響とする．また重み（整数値が良い）も適宜使用して良い．これをPSF レベル3, PSF レベル2, PSF レベル1 と呼ぶことにする．

3-4. 危険源の重複評価の回避と再定義

従来型のリスクアセスメントにおいて人間的側面を評価している項目がある．重複評価を避けるために表 4 のようにハードウェアを主にした従来型とPSFの考えによるリスクアセスメント項目を再定義にした．ヒューマンファクターズ項目の「機械類と人との相互作用，特に不具合の修正時」と「人間工学的側面」はハードウェアに依存する要素が多いので従来型のリスクアセスメントに含めて評価する．

3-5. 人的過誤率と PSF

スキルベースもしくはルールベースの作業員の動作あるいは行動のための判断の人的過誤率(HEP)は通常 10^{-2} から 10^{-4} である．作業時の環境や作業に関連する外的なPSF の影響によってヒューマンエラーは増大（人的過誤率は増加）する方向にかわると提案されている(Swain, 1983)．Gertman らはその報告書[10]で図 3 に示すようにPSF によって HEP が $5x10^{-1}$ から 10^{-5} の範囲で変動すると提案している．意識レベルの段階によってもヒューマンエラーも変わり信頼性は six nine にもゼロにもなるとの提案[11]もある．

次節では人的過誤率とPSFの慣例性に注目しリスクアセスメントの手法へ応用することを検討する．
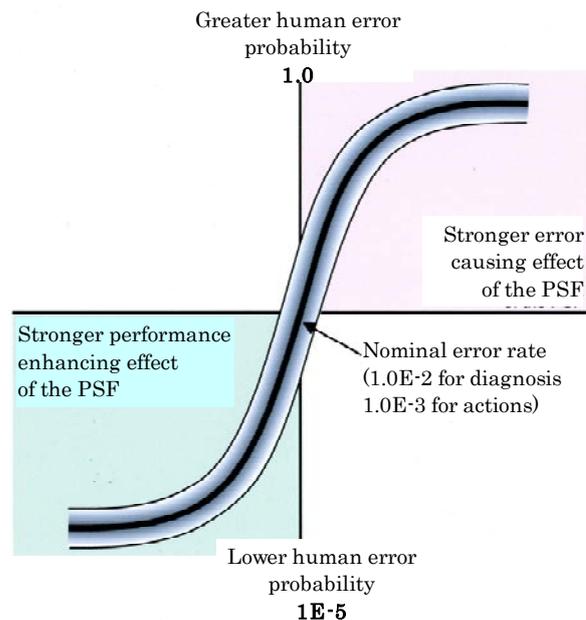
図 3 理想的なPSF の関数とした平均エラー発生確率
Figure 3 Ideal mean HEP as a function of PSF influence

表 3 人的側面の評価項目

Table 3 Proposed PSF for risk assessment

	評価項目	重み	評価点
1	作業手順からの逸脱がある*.	1	1 又は 0
2	作業手順に問題がある. 例えば, 手順書が準備されていない, 手順が不正確である, ある工程が含まれていない不完全である, など*,**.	1	1 又は 0
3	意図的な誤使用が行われている*.	1	1 又は 0
4	意図的でない誤使用が行われている*.	1	1 又は 0
5	意図的あるいは意図的でない不安全行動が行われる可能性がある*.	1	1 又は 0
6	時間や納期に追われている. 焦ることがある**.	1	1 又は 0
7	職場の人間関係がぎくしゃくしている**.	1	1 又は 0
8	作業者にストレスがある**.	1	1 又は 0
9	教育訓練が不足, 経験が必要な業務であるが経験不足である, 習熟度が低い, 危険性の認識が不足している**.	1	1 又は 0
10	疲労している. 単調で飽きやすい**	1	1 又は 0
		整数値	合計

* 指針[5]条項 9(3)

** 国際規格[8]条項 7.3.4

表 4 リスク要素の再定義

Table 4 Redefinition of risk assessment elements

従来型	人的	要素	項目	例, 備考
○		危害のひどさ	傷害または健康障害のひどさ	- 軽度, - 重い, 後遺障害 - 死亡;
○			危害の範囲	- 一人, - 複数の人
○		危害の発生確率	危険源に人が暴露される	- 危険区域への接近の可能性(例, 正常運転, 不具合の修正, 保守, 修理); - 接近の特性(例, 材料の手動供給); - 危険区域内にいる時間の長さ; - 接近を要する人の数; - 接近の頻度
○			危害の発生確率	- 信頼性データと他の統計データ; - 事故の履歴; - 健康障害の履歴; - リスク比較
○		危害回避または制限の可能性	危険源に曝される人;	- 熟練者; - 未熟者
○			危険状態が危険事象にどのくらい早く変わりうるか	- 突然に; - 高速で; - ゆっくりと
	○		リスクの認知	- 一般的情報による, 特に使用上の情報によるか; - 直接の観察による; - 警告標識, 警報機器とくに機械据え付け
	○		人の能力で回避もしくは危害を制限する	- 反射的動作による; - 敏捷性による; - 脱出の可能性がある

	○	危害回避または制限の可能性	実際の体験と知識	- 当該機械による直接的なもの； - 類似の機械による； - 経験無し
○		リスク評価時に考慮すべき側面	危険源に暴露される人	リスク評価時には危険源に曝される運転員だけではなく全ての人考慮の対象とする
○			暴露される状況，頻度，期間	危険源に暴露される評価は，機械の全ての運転モードと作業の方法を含む.特に機械の設定，ティーチング，工程の切り替えや修正，清掃，故障発見，保守を含める.リスク評価には安全装置を無効化せざると得ない運転があるか考慮する
○			暴露と効果の関係	危険源に暴露されることと影響について個々の危険源毎に考慮すること.暴露の蓄積は相乗効果をみること
○			ヒューマンファクターズ	機械類と人の相互作用，特に不具合の修正時；
	○			人と人の関係；
	○			ストレスがあるとき；
○				人間工学的側面；
	○			人がリスクを認知する能力，教育訓練，経験，能力に依存する；
	○			疲れさせる労働か，負担が大きいか

注） ○は適用を示す

4. リスクアセスメントの手法への応用

MIL-STD-882C:1993[12]などによるリスクマトリックス手法, DIN V 19250:1994[14]などによるリスクグラフ法および BS5304:1988 などによる数値スコアリング法とその発展形がリスク見積もりツールとして広く使用されている．これらの手法はいずれも定性的リスクアセスメントである．定量的リスクアセスメントは基礎となるデータが少なく一般の産業界では実用になっていないので本研究では取り上げていない． 本研究ではヒューマンエラーの評価をするために，これらのリスクアセスメント手法にヒューマンエラーの要素としてPSFを組み込める事を考察した．リスクアセスメントの実施方法は既存のやり方と同じであるので本稿では述べていない．

4-1. ヒューマンエラーと危険事象の発生確率

危害の発生確率は(2)式で示すように

・危害に曝される頻度(E),

・危険状態の発生(O),

・回避の可能性(A)

の関数である．リスクアセスメントで用いられる発生確率は一般的に自然言語で示し定性的に取り扱われる．表5はMIL-STD-882C (1993)が示す危害の発生確率の定性的な表現と定量的な数値の対応表である．これは例えば軍用機の 10,000 飛行毎の危険事象発生確率と表されている[12].

表 5 頻度の定量的基準例
Table 5. Suggested mishap probabilities levels

頻度の表現	定量的基準
(A) FREQUENT	$X>10^{-1}$
(B) PROBABLE	$10^{-1}>X>10^{-2}$
(C) OCCASIONAL	$10^{-2}>X>10^{-3}$
(D) REMOTE	$10^{-3}>X>10^{-6}$
(E) IMPROBABLE	$10^{-6}>X$

リスクアセスメントにおいての検討範囲は表 5 における (A) FREQUENT, (B) PROBABLE と (C) OCCASIONALであり 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}の確率である．これら(A), (B), (C)にはPSFの影響が含まれてて，これが図3で示すHEPに影響するPSFと何らかの関連性があるものと仮定する．ただし図3においてHEP＝1，あるいは0.5 のような範囲は信頼性ゼロともいえる領域であって作業者の居眠りや失神のような状態の場合であるので考慮から除外する[11].

4-2. リスクマトリックス法

MIL-STD-882C (1993)では，危害の確率を 5 レベル，危害のひどさを 4 レベルとした 2 次元のマトリックスを利用してリスクの大きさのインデックスを求める．他に ANSI B11.TR3[13]の 4x4 マトリックス，厚生労働省の 3x3 マトリックスなども広く使用されている．表 6 にマトリックスの例を示す．マトリックスの大きさ，5x4=20, 4x4=16, 3x3=9 はリスクの大きさの相対的順序を示しリスクの大きさではない． 20 段階あるいは 16 段階のリスクインデックスは順序ではあって評価には細分化されすぎているので，リスク評価として 3 段階(High, Medium, Low)，（高 中 低）あるいは 4 段階(High risk, Medium risk, Moderate risk, Low risk)，（高 中 有 低）とカテゴリに分けることが行われる.表 7 にリスクインデックスを 4 つの評価に分ける ANSI B11.TR3 およびそれを利用して人的側面の影響度 PSF レベル=1, 2 または 3 をリスク評価に含めた例を示した.

またリスク評価に使用する PSF レベルに対応する 3 枚のリスクマトリックスを図 4 に示すように Z 軸方向に拡張した.

表 6　リスクインデックスを求めるマトリックスの例
Table 6 Risk estimation matrix

S 危害の程度	P 危害の発生確率 高い $X > 10^{-1}$	可能性有り $10^{-1} > X > 10^{-2}$	可能性低い $10^{-2} > X > 10^{-3}$	少ない $10^{-3} > X > 10^{-5}$
致命傷	16	14	12	8
重大	15	13	9	4
軽傷	11	10	5	3
軽微	7	6	3	1

注1）発生確率は1年間の値である。MIL-STD-882Cを参考にした
注2）最もリスクが大きい数を16とした.
注3）リスクインデックスの順はANSI B11.TR3を参考にした.
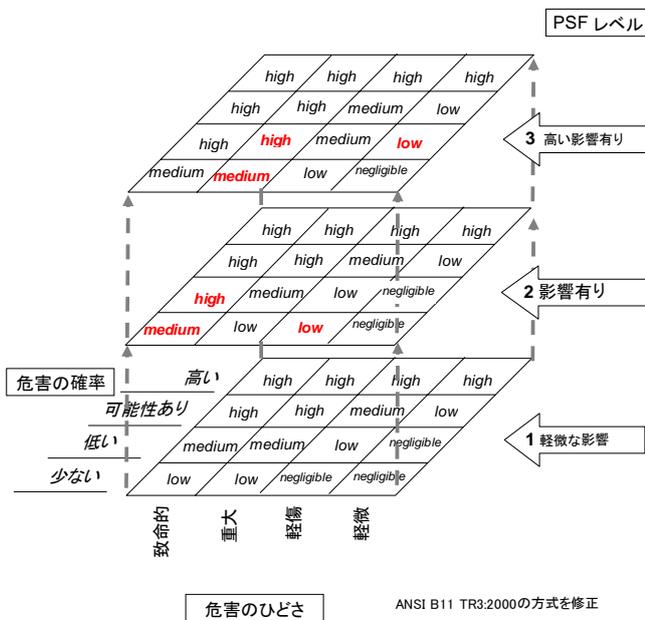
図 4　PSF のレベルと 3 枚のマトリックス
Figure 4 PSF levels and associated e matrices

表 7 リスクインデックスと PSF レベルによるリスク評価
Table 7 Risk index and PSF level for risk estimation

リスクインデックス	ANSI B11.TR3	PSF レベル1	PSF レベル2	PSF レベル3
16 リスク高	High	高	高	高
15	High	高	高	高
14	High	高	高	高
13	High	高	高	高
12	High	高	高	高
11	Medium	中	高	高
10	Medium	中	中	高
9	Medium	中	中	中
8	Medium	中	中	中
7	Low	低	中	中
6	Low	低	低	中
5	Low	低	低	低
4	Low	低	低	低
3	Negligible	無視可	低	低
2	Negligible	無視可	無視可	低
1 リスク低	Negligible	無視可	無視可	無視可

4-3. リスクグラフ法

DIN V 19250[14]のリスクグラフは，危害のひどさ(S)を 4 レベル，危険領域での暴露期間(A)を 2 レベル，危険源の回避(G)を 2 レベルとし，望ましくない事象の発生確率 W を 3 レベル，W1, W2, W3 としている．PSF のレベル 1, 2, 3 をそれぞれパラメータ W1,W2, W3 と対応させて組み込んだ例を図 5 に示す．なお(S), (A), (G), (W)は DIN 規格の用例に従った.

リスクグラフ

S1, S2, S3, S4, A1, A2, G1, G2, 1

W3 (PSF3)	W2 (PSF2)	W1 (PSF1)
3	2	1
4	3	2
5	4	3
6	5	4
7	6	5
8	7	6
9	8	7
10	9	8
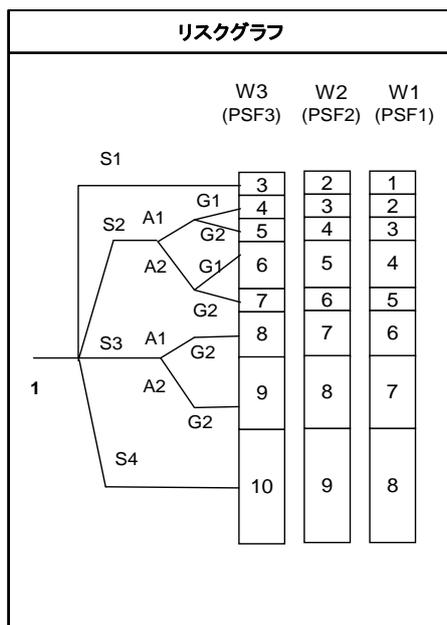
図 5 ヒューマンエラーの要素とリスクグラフ(1/2)
Figure 5 Risk graph for risk estimation (1/2)

パラメータ							
S	危害のひどさ	A	危険源にさらされる頻度及び／または時間	G	危険事象回避の可能性	W	人的側面のレベル
S1	軽傷（完治可能）	A1	"めったにない"から"時々"まで、及び／または、さらされる時間が短い	G1	特定の条件下で可能	W1	影響は軽い
S2	死亡を含めて重傷（通常は完治しない）	A2	"頻繁"から"組織的"まで、及び/または、さらされる時間が長い	G2	ほとんど不可能	W2	影響が有る
S3	数人の死亡					W3	高い影響がある
S4	死亡者多数						

JIS B9705-1:2000図B.1を修正

図 6 ヒューマンエラーの要素とリスクグラフ(2/2)
Figure 6 Risk graph for risk estimation (2/2)

4-4. 数値計算法

数値計算法では，リスクパラメータの危害のひどさ(S)，発生確率(P)，暴露の頻度(F)のポイント数を加算あるいは乗算してリスクレベルを決定する．例えば図 7 に示すような数値を用いてリスクレベルを求める方法であって，人的側面(H)を 1, 2, 3 として含めた例である．数値の 1 から 10 はリスクアセスメントを実施する評価者が定めて良い．通常は一つの企業，事業所あるいはプロジェクトで統一して用いる．

危害のひどさ (S)	値
致命的	10
重篤	6
中等症	3
軽傷	1

発生確率 (P)	値
可能性高い	6
可能性有り	4
可能性すくない	2
滅多にない	1

暴露の頻度 (F)	値
頻繁	4
継続的	3
希に	2
滅多にない	1

人的側面 (H)	値
高い可能性	3
可能性有り	2
影響は軽い	1

リスクレベル	評点 (R)	
	加算法	乗算法
IV	20 ～ 23	217 ～ 720
III	13 ～ 19	70 ～ 216
II	7 ～ 12	25 ～ 69
I	6以下	24以下

加算法	リスク (R)＝(S) + (P) + (F) + (H)
乗算法	リスク (R)＝(S) x (P) x (F) x (H)

図7 ヒューマンエラーの要素と数値計算法
Figure 7 Numerical scoring and its elements

5. フィールドテスト

表 3 に示す人的側面の評価項目を含めたリスクアセスメントの妥当性の確認のために，フィールドテストを行った．そのうちから 2 例，図 2 に示すスライサー（パン工場）と 図8 に示す食肉ミキサー（ソーセージ工場）のフィールドテストの結果を示す．評価者は機械ユーザーの現場の担当者からなる 1 チーム 4 名もしくは 5 名のチーム構成である．危険源の同定は，事前に用意した危険源リストと共に以下のいずれか，あるいは併用で

・ハードウェア全体あるいは部分的な観察により；

・材料や製品の流れに沿って観察して；

・工程，あるいはモード毎の作業者の動きに沿って；

・エネルギーの流れに沿って

類似の危険源を探す（同定）方法がある．今回のリスクアセスメントでは工程，モード(生産，段取り替え，清掃など)に沿って危険源の同定を行った．この方式は工場の生産現場では受け入れられやすい．

図８　食肉ミキサーから撹拌した肉を掻きだす様子
Figure 8 Worker scraping out meat from mixing machine

図 9 はスライサーの作業工程と人的側面評価，図 10 はリスクアセスメントの評価シートである．

図 11 はミキサーの作業工程と人的側面評価，図 12 はリスクアセスメントの評価シートである．

このほか食品の充填機，包装機，大型撹拌機械などにおいてもリスクアセスメントを実施したが，マトリックス法，リスクグラフ法，数値計算法のいずれにおいても評価者から使いやすいとの反応であった．

6. 結論と今後の課題

今回の研究の目的は従来型のリスクアセスメントでは十分にリスク評価出来ない人的側面を専門家でなくともリスク評価出来る方法を開発することである．

本研究では，作業手順書の不備・不足・不完全，時間的な焦り，未承認の職場慣行，教育訓練や習熟度の不足などヒューマンエラーを生じやすくなる人的側面を従来型のリスクアセスメントと同時に評価する手法を研究し提案を行った．この方法は，現在広く行われているリスクアセスメントと統合してリスク低減策の検討および立案の手順に組み込む事が出来るので，これまでほとんど配慮されていなかった人的側面に存在する問題点を迅速に可視化でき，対策を取る事が可能になる．この一連の手順はヒューマンエラーの専門家でなくとも企業の安全担当者であれば理解可能であり，専門家の援助や特段の訓練をうけなくとも実施可能であった．また図 9, 図 11 の人的側面評価シートを見るとどこが課題か分かりやすいのでたとえば手順書，あるいは違反を犯しやすいのか容易に判別できる．したがって人的要因が可視化されれば対策項目に含めることが出来る．

フィールドテストは労働災害事故の多い食品製造業の 5 事業所で計数十台の機械を対象に事業所の方々が実施した．その結果は使用が容易で評価結果も分かりやすいとの反応であった．

従来のリスクアセスメントでは，機械的危険源，電気的危険源のようにハードウェアに関わるリスク評価が行われ，人的側面は操作インターフェースのような人間－機械システムを人間工学的に評価することにとどまっていたように思える．一般の産業界においてはヒューマンエラーの防止が大事であると大方に認識されているが防止対策にまで届いていない．ヒューマンファクターズ誌において一般産業界で活用できそうな防止対策の論文が精力的に発表されている．例えば文献[15][16][17]などはとても貴重である．

このリスクアセスメントによってヒューマンエラーが予防できたか，出来るかを知るには今後の継続的な調査が必要である．それはヒューマンエラー予防と共通する課題でもある．

PSF項目として表3に10項目を取り上げたが，その妥当性と重み，評価点あるいは食品製造業以外の産業における検証など今後の継続的な研究の課題である．またリスクアセスメントにおいてPSFを評価することがリスク評価に不可欠で労働災害の防止に有効であることが広く知られる事を望むものである．

参考文献

(1) 安全衛生年鑑 平成17年版，中央労働災害防止協会

(2) ISO,2003, ISO 12100-1 Safety of machinery－Basic concepts, general principles for design －Part 1:Basic terminology, methodology.

(3) ISO,2003, ISO 12100-2 Safety of machinery－Basic concepts, general principles for design － Part 2:Technical principles.

(4) ISO, 1999, ISO 14121 Safety of machinery － Principles of risk assessment.

(5) 危険性又は有害性等の調査等に関する指針，平成 18 年 3 月 10 日，厚生労働省労働基準局長，基発第 0310001 号

(6) Swain, A. D. and H. E. Guttmann (1983). Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications. NUREG/CR-1278.

(7) 吉野賢治 (1996). "運転・保守作業におけるヒューマンエラー予測手法の確立　その1) ヒューマンエラー誘発要因としてのPSFの重要性とその構築." 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌 1(1): 8-15.

(8) ISO (2007), ISO14121-1:2007 Safety of machinery - Risk assessment.

(9) ISO (2007), ISO/TR14121-2:2007 Safety of machinery -- Risk assessment -- Part 2: Practical guidance and examples of methods.

(10) Gertman, D, H. Blackman, et al. (2005). The SPAR-H Human Reliability Analysis Method. NUREG/CR-6883.

(11) 橋本邦衛 (1990). 安全人間工学，東京，中央労働災害防止協会

(12) US Department of defense, 1993, MIL-STD-882C, System Safety Program Requirement

(13) American National Standards Institute, 2000, ANSI B11.TR3:2000, ANSI Technical Report for Machine Tools - Risk assessment and risk reduction - A guide to estimate, evaluate and reduce risk associated with machine tools

(14) DIN V 19250 (1994). Basis safety evaluation of measuring and control protective equipment.

(15) 永田学 and 行待武生 (2005). "ヒューマンエラー未然防止に向けた方策誘導マトリックスの導出." ヒューマンファクターズ 10(1): 10.

(16) 永田学 and 行待武生 (2005). "再発防止対策におけるPSF緩和の評価とヒューマンエラー未然防止への提言." ヒューマンファクターズ Vol.9(No.2): 9.

(17) 行待武生 and 永田学 (2008). "ヒューマンエラーの防止対策誘導リストの研究." ヒューマンファクターズ 13(1): 18.

No.	不安全行動であれば✔する	作業工程、操作する機械（不安全行動を含めて記述する）	PSFを評価する事項 1 作業標準からの逸脱	2 作業手順書が無い、不正確、不完全	3 意図的な誤使用が行われている	4 意図的でない誤使用が行われている	5 誤使用の恐れ有り（意図的、非意図的）	6 時間（納期）に追われている	7 職場の人間関係が悪い	8 作業者にストレスがかかっている	9 教育訓練，熟練度，危険性認識の不足	10 疲れやすい業務である、単調な業務	評価結果 評価の合計	PSF level
		重み係数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1	✔	作業を始めるとき電源プラグを抜く（誤使用：プラグは差した状態）			1		1				1		3	1
2	✔	スライサーをスプレーアルコールと布巾で消毒・清掃する	1			1					1		3	1
3		スライスする幅を設定する											0	1
4	✔	電源プラグを電源ソケットに差す	1	1		1					1		4	2
5		スライスするパンをパンテーブルにのせる											0	1
6	✔	電源スイッチをいれる（誤使用：早く入れる）	1	1		1					1		4	2
7	✔	ランプ点灯を確認する（エラー：確認しない）	1			1							2	1
8	✔	スライスする											0	1
9	✔	スライスしたパンを手で受けてはならない（誤使用：手で受ける）	1			1	1				1		4	2
10	✔	パンの長さが12cm以下でパン押し板を使用する（誤使用：使わない）	1		1			1			1		4	2
11		（スライスが終了した）											-	-
12	✔	電源スイッチを切る	1	1			1				1		4	2
13		スライスしたパンを集める											0	2
14	✔	電源プラグを抜く	1	1			1				1		4	2
15	✔	スライサーをスプレーアルコールと布巾で消毒・清掃する			1		1				1		3	1
16	✔	15の作業時に手袋をはめて行う（誤使用：素手でおこなう）	1			1					1		3	1
17		（スライス作業終了）											-	–

評価点合計が：　0，1，2，3 ならばPSFレベル＝1，
4，5，6 ならばPSFレベル＝2，
7，8，9，10 ならばPSFレベル＝3

図 9 食パンスライサーの人的側面評価シート

Figure 9 PSF evaluation sheet for pullman loaf slicer

リスクアセスメント(RA)実施結果一覧表（数値計算法−加算−）

<table>
<tr><td colspan="3">機械の名称:食パンスライサー</td><td colspan="3">注文（工事、管理）番号</td><td colspan="2"></td><td colspan="5" rowspan="3">関連書類No、及び名称
1.取扱説明書
2.作業手順書
3.人的側面評価シート
4.</td></tr>
<tr><td colspan="3">RAの区分 ： ユーザーにて使用</td><td colspan="5">RA実施工程(コンポーネント):</td></tr>
<tr><td colspan="3">安全･衛生の区別：（安全）・品質・衛生</td><td colspan="5">RA実施工程(機械等設備名):</td></tr>
<tr><td rowspan="2">識別No</td><td rowspan="2">機械の対象部
機械の動作
対象者の行動</td><td rowspan="2">危険源</td><td rowspan="2">危険事象</td><td rowspan="2">危害の説明
どのようにして生じるか</td><td rowspan="2">対象者</td><td colspan="6">リスクの評価</td></tr>
<tr><td>傷害のひどさ
S</td><td>発生確率
P</td><td>暴露の頻度
F</td><td>PSFレベル</td><td>評点</td><td>リスクレベル</td></tr>
<tr><td>1</td><td>回転丸刃
食パンをパンテーブルに置く</td><td>機械的</td><td>切断
切り傷</td><td>パンをテーブルに置いた時に（静止している）回転丸刃に接触</td><td>作業員</td><td>1
軽傷</td><td>4
有り</td><td>4
頻繁</td><td>1</td><td>10</td><td>II</td></tr>
<tr><td>2</td><td>回転丸刃
食パンをパンテーブルに置く
⇒電源が入り刃が回転している</td><td>機械的</td><td>切断
切り傷</td><td>パンをテーブルに置いた時に（回転している）回転丸刃に接触</td><td>作業員</td><td>6
重傷</td><td>4
有り</td><td>4
頻繁</td><td>1</td><td>15</td><td>III</td></tr>
<tr><td>3</td><td>回転丸刃
パンをスライスする
⇒パンが短いのに押し板を使わない</td><td>機械的</td><td>切断
切り傷</td><td>パンを押してゆくときに指が（回転している）丸刃に接触（押し板不使用）</td><td>作業員</td><td>6
重傷</td><td>4
有り</td><td>4
頻繁</td><td>2</td><td>16</td><td>III</td></tr>
<tr><td>4</td><td>回転丸刃
スライスしたパンを手で受ける
⇒手で受けることは禁止</td><td>機械的</td><td>切断
切り傷</td><td>スライスしたパンが20cmほど落ちるので手で受けようとして丸刃に接触</td><td>作業員</td><td>6
重傷</td><td>4
有り</td><td>4
頻繁</td><td>2</td><td>16</td><td>III</td></tr>
<tr><td>5</td><td>回転丸刃を砥石で研いだ後に研磨屑を拭き取る</td><td>機械的</td><td>切断
切り傷</td><td>清掃中に丸刃に接触した．丸刃は静止していたが保護手袋をしていなかった．</td><td>作業員</td><td>1
軽傷</td><td>4
有り</td><td>4
頻繁</td><td>1</td><td>10</td><td>II</td></tr>
<tr><td>6</td><td>回転丸刃を砥石で研いだ後に研磨粉を拭き取る
⇒電源が入り刃が回転している</td><td>機械的</td><td>切断
切り傷</td><td>清掃中に丸刃に接触した．丸刃が回転していた．電源の切り忘れ．</td><td>作業員</td><td>6
重傷</td><td>4
有り</td><td>4
頻繁</td><td>2</td><td>16</td><td>III</td></tr>
<tr><td>7</td><td>回転丸刃
スライサーを清掃中</td><td>機械的</td><td>切断
切り傷</td><td>清掃中に丸刃に接触した．丸刃は静止していたが保護手袋をしていなかった．</td><td>作業員</td><td>1
軽傷</td><td>4
有り</td><td>4
頻繁</td><td>2</td><td>11</td><td>II</td></tr>
<tr><td>8</td><td>回転丸刃
スライサーを清掃中
⇒電源が入り刃が回転している</td><td>機械的</td><td>切断
切り傷</td><td>清掃中に丸刃に接触した．丸刃が回転していた．電源の切り忘れ．</td><td>作業員</td><td>6
重傷</td><td>4
有り</td><td>4
頻繁</td><td>2</td><td>16</td><td>III</td></tr>
<tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

			リスクレベル	
S	危害のひどさ:	10：致命的，6：重篤，3：中等症，1：軽傷	IV	20～24
P	危害の確率もしくは可能性:	6：可能性高い，4：可能性有り，2：可能性少ない，1：滅多にない	III	13～19
F	暴露の頻度	4:頻繁, 3:継続的, 2:希に, 1:滅多にない	Ⅱ	7～12
H	人的側面	4：可能性高い，2：可能性有り，1：影響は軽い	Ⅰ	6以下

図 10 食パンスライサーのリスクアセスメントシート (1/2)

Figure 10 Risk assessment work sheet for pullman loaf slicer (1 of 2)

作成日：　　　年　　　月　　　日
作成者：
文書No：

	RA作業メンバー	承認	確認

保護対策	リスクの再評価						保護対策に関する特記事項 妥当性に関わる規格No　等
	傷害のひどさ	発生確率	暴露の頻度	PSFレベル	評点	リスクレベル	
	S	P	F				
スライスするときのみモーターが回転するように機械を改造する　(Hold to runの押しボタンを付加する)	1 軽傷	2 少	4 頻繁	1	8	II	スライサーの丸刃の回転ON-OFFはスナップスイッチ（2個直列）では十分に安全ではない.
スライスするときのみモーターが回転するように機械を改造する　(Hold to runの押しボタンを付加する)	1 軽傷	2 少	4 頻繁	1	8	II	同上
機械の改良は難しい(設計の変更を要する)．押し板を使うように訓練し注意標識を貼り監督者が注意する.	6 重傷	4 有り	4 頻繁	2	16	III	パンテーブルを大きく傾斜させパンの自重でパンが丸刃に押しつけられれば押し板は不要になるがここまで改造できない
機械の改良は難しい(設計の変更を要する)．手受けしないように訓練し注意標識を貼り監督者が注意する.	6 重傷	4 有り	4 頻繁	2	16	III	同上
機械の改良は難しい．保護手袋着用を訓練し注意標識を貼り監督者が注意する.	1 軽傷	4 有り	4 頻繁	1	10	II	清掃時には丸刃の外側に適切なガードの設置が必要であるがここまで改良できない
Hold to runの押しボタンの安全装置を付加し，清掃作業時には電源コードを抜くよう訓練し監督者が注意する.	1 軽傷	2 少	4 頻繁	1	8	II	電源の切り忘れ防止が必要である。
機械の改良は難しい．保護手袋着用を訓練し注意標識を貼り監督者が注意する.	1 軽傷	4 有り	4 頻繁	2	11	II	清掃時には丸刃の外側に適切なガードの設置が必要であるがここまで改良できない
Hold to runの押しボタンの安全装置を付加し，清掃作業時には電源コードを抜くよう訓練し監督者が注意する.	1 軽傷	2 少	4 頻繁	1	8	II	電源の切り忘れ防止が必要である。

図 10 食パンスライサーのリスクアセスメントシート　(2/2)

Figure 10 Risk assessment work sheet for pullman loaf slicer (2 of 2)

Figure 11 PSF evaluation sheet for meat mixing machine

No.	不安全行動であれば ✔ する	作業工程、操作する機械（不安全行動を含め記述すること）	1 作業標準からの逸脱	2 作業手順書が無い、不正確、不完全	3 意図的な誤使用が行われている	4 意図的でない誤使用が行われている	5 誤使用の恐れ有り （意図的、非意図的）	6 時間（納期）に追われている	7 職場の人間関係が悪い	8 作業者にストレスがかかっている	9 教育訓練，熟練度，危険性認識の不足	10 疲れやすい業務である、単調な業務	評価結果 評価の合計	評価結果 PSF level
		重み係数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1		ミキサーに異常が無いか目視点検し、電源をいれる		1							1		2	1
2		肉（100kg)をミキサーに入れる．ミキサーは停止状態	1	1		1					1		4	1
3		始動押しボタンをおしてアジテータを回転させる											0	1
4		ミキサーボールの撹拌羽根で肉を撹拌する（自動運転）											0	1
5	✔	ミキサーからこぼれた肉を回転中のミキサーボールに戻す	1	1	1			1			1		5	2
6	✔	追加の肉を回転中のミキサーボールに投入する	1	1	1	1	1	1			1		7	3
7		運転の様子、肉の撹拌の具合を時々監視する											0	1
8		撹拌羽根の運転が終了する．タイマ運転または手動停止											0	1
9		操作ボタンを押してミキサーボールを少し傾ける						1					1	1
10	✔	動力で撹拌羽根を低速で回しながら肉を取り出す	1	1	1	1	1	1			1		7	3
11		撹拌された肉をヘラで掻きだす　（撹拌羽根は停止状態）						1					1	1
12		肉を全て取り出すまで9，10，11の作業を続ける											0	1
13		清掃のためにミキサーの主電源を切る	1		1			1			1		4	2
14		ミキサーボールと撹拌羽根をヘラで清掃し水洗いする											0	1
15	✔	ボールと撹拌羽根を清掃のために動力で少し回転させる		1		1		1					3	1
16		電源を遮断する											0	1
17		すべて洗い終えたら水分を拭き取る（一日の作業終了）											0	1

評価点合計が：0,1,2,3 ならばPSFレベル＝１：4,5,6 ならばPSFレベル＝2： 7,8,9,10 ならばPSFレベル＝

図 11 食肉ミキサーの人的側面評価シート

Figure 11 PSF evaluation sheet for meat mixing machine

リスクアセスメント(RA)実施結果一覧表（マトリックス法）

機械の名称:食肉ミキサー	注文（工事、管理）番号	関連書類No、及び名称 1. 取扱説明書 2. 作業手順書 3. 人的要因評価表 4.
RAの区分 ： ユーザーにて使用	RA実施工程(コンポーネント):	
安全･衛生の区別： 安全・品質・衛生	RA実施工程(機械等設備名):	

識別No	機械の対象部 機械の動作 対象者の行動	危険源	危険事象	危害の説明 どのようにして生じるか	対象者	リスクの評価 傷害のひどさ S	発生確率 P	リスクインデックス	PSFレベル	リスクレベル
1	ミキサーに異常が無いか目視点検し、電源をいれる	電気	感電	絶縁不良で感電する 接地工事が取れていない（接地線が外れている）	作業員	② 重大	C 低	9	1	中
2	肉（100kg)をミキサーに入れる．ミキサーは停止状態	台車、作業床	筋肉痛 転倒	挽肉の塊は重量(5～15kg)があり、作業床は肉脂で滑りやすい	作業員	② 重大	C 低	9	2	中
3	始動押しボタンを押してアジテータを回転させる	機械	巻込まれ 捕捉	肉をミキサーボールに入れている他の作業者が回転羽根に巻き込まれる	作業員	② 重大	C 低	9	1	中
4	ミキサーボールの撹拌羽根で肉を撹拌する（自動運転）	機械	巻込まれ	ミキ-サーボールと機械本体のシャフトに巻き込まれる	作業員	② 重大	C 低	9	2	中
5	ミキサーからこぼれた肉を回転中のミキサーボールに戻す（不安全行動）	機械	捕捉	こぼれた肉を手で戻している時に回転羽根に捕捉される	作業員	② 重大	B 有	13	1	高
6	追加の肉を回転中のミキサーボールに投入する（不安全行動）	機械	捕捉	肉を追加中に回転ばねに手を捕捉される	作業員	② 重大	B 有	13	3	高
7	運転の様子、肉の撹拌の具合を時々監視する	機械	捕捉	肉の撹拌の程度を調べるためサンプルを取ろうとして手を捕捉される	作業員	② 重大	B 有	13	1	高
8	撹拌羽根の運転が終了する．タイマー運転または手動停止．	機械	捕捉	撹拌羽根が完全に停止する前に手をいれて捕捉される	作業員	② 重大	C 低	9	1	中
9	操作ボタンを押してミキサーボールを少し傾ける	機械	押しつぶし	動力でミキサーボールを傾けるときに肉の移動用台車とのあいだで挟まれる	作業員	② 重大	C 低	9	2	中
10	動力で撹拌羽根を低速で回しながら肉を取り出す（不安全行動）	機械	捕捉	肉をヘラで掻きだすときに重いので（禁止されている）動力の力を借りる	作業員	② 重大	B 有	13	3	高
11	撹拌された肉をヘラで掻きだす （撹拌羽根は停止状態）	機械	捕捉	停止していた撹拌羽根が何らかの原因（故障を含む）で急に動き出す	作業員	② 重大	C 低	9	1	中
12	肉を全て取り出すまで9，10，11の作業を続ける	該当なし	該当なし	該当なし	作業員	－	－	－	－	－
13	清掃のためにミキサーのモーター電源を切る	電気	感電	絶縁不良で感電する	作業員	② 重大	C 低	9	2	中
14	ミキサーボールと撹拌羽根をヘラを使って清掃し、水洗いする	該当なし	該当なし	該当なし	作業員	－	－	－	－	－
15	ボールと撹拌羽根を清掃のために電源をいれて少し回転させる	機械	捕捉	撹拌羽根に捕捉される	作業員	② 重大	B 有	13	1	高
16	主電源を遮断する	該当なし	該当なし	該当なし	作業員	－	－	－	－	－
17	すべて洗い終わたら水分を拭き取る（一日の作業終了）	該当なし	該当なし	該当なし	作業員	－	－	－	－	－

S　危害のひどさ:　①：致命的，②：重大，③：軽傷，④：軽微
P　危害の確率もしくは可能性:　A：極めて高い，B：可能性あり，C：可能性は低い，D：可能性少ない
（注：このPはPSFの影響を含まないものであること）

図 12　食肉ミキサーのリスクアセスメントシート　(1/2)

Figure 12 Risk assessment work sheet for meat mixing machine (1 of 2)

作成日：　　　年　　　月　　　日
作成者：
文書No：

	ＲＡ作業メンバー	作成	確認

保護対策	リスクの再評価					保護対策に関する特記事項 妥当性に関わる規格No
	傷害のひどさ S	発生確率 P		PSF レベル	リスクレベル	
漏電ブレーカーの設置，接地をとる 電源ケーブルを接地線込みの４線式とする	②重大	C低	9	1	中	電気系統の災害は本質的対策が困難
作業床の清掃を頻繁に行う 滑り難い長靴を着用する	②重大	C低	9	2	中	リスクは残留する
ミキサーボールにカバーを付けインターロックをかけてモーターを停止させる	④軽微	C低	3	2	低	購入当初はカバーが付いていたが現在は紛失している．取り付けても再度外される可能性がある
ジョイント部にカバーを取り付ける	④軽微	C低	3	2	低	
ミキサーボールにカバーを付けインターロックをかけてモーターを停止させる	②重大	C低	3	2	低	購入当初はカバーが付いていたが現在は紛失している．取り付けても再度外される可能性がある
ミキサーボールにカバーを付けインターロックをかけてモーターを停止させる	②重大	C低	3	2	低	購入当初はカバーが付いていたが現在は紛失している．取り付けても再度外される可能性がある
ミキサーボールにカバーを付けインターロックをかけてモーターを停止させる	②重大	B有	13	2	高	購入当初はカバーが付いていたが現在は紛失している．取り付けても再度外される可能性がある
ミキサーボールにカバーを付けインターロックをかけてモーターを停止させる	②重大	C低	3	2	低	購入当初はカバーが付いていたが現在は紛失している．取り付けても再度外される可能性がある
適切な保護方策がないので現状のままとする	②重大	C低	9	2	中	適切な保護方策がないので現状のままとする
適切な保護方策がないので現状のままとする	②重大	B有	13	3	高	適切な保護方策がないので現状のままとする
安全回路の保護カテゴリーを３以上に変更する	②重大	C低	9	1	中	安全機器をフェールセーフ化すると故障することによる危害の発生の可能性は減少するが皆無にはならない
	－	－	－	－	－	
接地を確実にとる．漏電ブレーカーを入れる．	②重大	C低	9	2	中	電気系統の災害は本質的対策が困難
	－	－	－	－	－	
ホールドツーラン（押しているあいだだけモータが動作する）方式に改造する．	②重大	C低	9	2	中	押しボタンの位置に注意が必要
	－	－	－	－	－	
	－	－	－	－	－	

図 12　食肉ミキサーのリスクアセスメントシート　(2/2)

Figure 12 Risk assessment work sheet for meat mixing machine (2 of 2)